

## МЕТОДИ І ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 004.05

### КВАЛІМЕТРИЧНІ ШКАЛИ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

*М. В. Кузь, В. М. Андрейко\***ПВНЗ Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького  
вул. Є. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, 76018, e-mail: vtalna@mail.ru*

*Проаналізовані методи побудови оціночних шкал. Встановлено, що найбільш прийнятними для оцінки рівня якості програмних продуктів можуть бути шкали порядку. Розроблено кваліметричну шкалу програмних продуктів на основі чисел ряду Фібоначчі та здійснено порівняльний аналіз зі шкалами, що будуються на основі узагальненої функції бажаності Харрінгтона. Шляхом оцінки експериментальних даних, отриманих при дослідженні якісних показників програмних продуктів, проведена оцінка адекватності розробленої моделі побудови оціночних кваліметричних шкал на основі «Золотого перетину» (ряду Фібоначчі). Доведено перевагу у застосуванні функції «Золотого перетину» над функцією Харрінгтона при вирішенні задачі побудови кваліметричних шкал програмних продуктів. Розроблено дерево властивостей програмного продукту засобу вимірювальної техніки.*

*Ключові слова: функція Харрінгтона, «Золотий перетин», дерево властивостей.*

*Проанализированы методы построения оценочных шкал. Установлено, что наиболее приемлемыми для оценки уровня качества программных продуктов могут быть шкалы порядка. Разработана кваліметрическая шкала программных продуктов на основе чисел ряда Фибоначчи и осуществлен сравнительный анализ со шкалами, которые строятся на основе обобщенной функции желательности Харрингтона. Путем оценки экспериментальных данных, полученных при исследовании качественных показателей программных продуктов, проведена оценка адекватности разработанной модели построения оценочных кваліметрических шкал на основе «Золотого сечения» (ряда Фибоначчи). Доказано преимущество в применении функции «Золотого сечения» над функцией Харрингтона при решении задачи построения кваліметрических шкал программных продуктов. Разработано дерево свойств программного продукта средства измерительной техники.*

*Ключевые слова: функция Харрингтона, «Золотое сечение», дерево свойств.*

*Some ways to build assessment scales are analyzed. It is stated that an order scale is the most reasonable one to be applied to software quality assurance. The Software Qualimetric Scale based on the Fibonacci sequence is developed and the comparative analysis is made against other scales which are based on the Harrington's scale of quality and results. Experimental data, such as software quality indicators, are gathered and processed and, as the result, the relevancy of the given scale model based on the Golden ratio (the Fibonacci sequence) is estimated. The advantage in applying the Golden ratio function over the Harrington's function for building software qualimetric scales are proved.*

*Keywords: Harrington's scale, Golden ratio, Property Tree.*

В умовах сучасних ринкових відносин часто постає питання вибору певного продукту серед однотипних аналогів. Ця дилема виникає як при тендерних закупівлях, так і при конкурсному відборі чи просто виборі продукту при купівлі в торгових закладах. Це все в повній мірі стосується і програмних продуктів.

З поміж багатьох характеристик продукції, в тому числі і програмної, чи не найважливішими є якісні показники. Асортимент якісних показників програмного забезпечення та методику їх визначення встановлює

нормативний документ [1]. Однак, здійснити порівняння якісних характеристик однотипного програмного забезпечення за цим документом неможливо, зокрема тому, що даний нормативний документ встановлює методику визначення шести факторів якості (надійність, супроводжуваність, зручність використання, ефективність, універсальність, функціональність) того чи іншого програмного продукту і не містить методики визначення узагальненого показника якості. Наявність одного числового значення узагальненого показника якості для

певного програмного продукту дозволяє здійснювати порівняння із аналогічним якісним показником однотипного продукту. Методологія визначення узагальненого показника якості розроблена в [2] та обчислене його числове значення для програмного продукту 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу» [3], що становить  $Q = 0,785$ .

Однак, навіть вибравши з поміж кількох програмних продуктів найкращий (з найбільшим числовим значенням узагальненого показника якості), постає питання чи є достатнім рівень якості цього програмного продукту для вирішуваної ним одної чи ряду задач і функцій. Тому необхідним є розроблення шкали рівнів якості (кваліметричної шкали) програмних продуктів.

В теорії вимірювань, відповідно до [4], розрізняють п'ять типів шкал вимірювань: найменувань, порядку, різниць (інтервалів), відношень і абсолютні шкали. Найбільш прийнятними для оцінки рівня якості програмних продуктів можуть бути шкали порядку, які за означенням, наведеним в [4], описують властивості, для яких мають зміст не тільки відношення еквівалентності, але і відповідність порядку по зростанню чи спаданню кількісного прояву властивостей.

Нижче наведені приклади такого типу шкал.

Шкала Ріхтера (локальна шкала ML) використовується для оцінки порядкової величини землетрусу [5]. Це логарифмічна шкала з основою 10, значення на котрій отримуються шляхом обчислення логарифму комбінованої горизонтальної амплітуди найбільшого зміщення від нуля показаного сейсмографом. Ослаблення амплітуди відстанню між епіцентром землетрусу та сейсмографом коректують шляхом віднімання логарифму прогнозованої амплітуди землетрусу порядку 0 на такій відстані.

В табл. 1 описані типові ефекти землетрусів різного порядку поблизу епіцентру.

Яскравим прикладом такого виду шкал є також шкали [6]:

- Бофорта – шкала для наближеної оцінки сили (швидкості) вітру, створена в 1805 році британським адміралом і гідрографом Френсісом Бофортом. Сила вітру за шкалою Бофорта визначається за його дією на оточуючі предмети і вимірюється в балах (від 0 до 17 балів). У 1955 році, щоб розрізнити ураганні вітри різної сили, Бюро погоди США розширило шкалу до 17 балів;

- Фудзіти або F-шкала – шкала, що використовується для класифікації торнадо за швидкістю вітру і за нанесеними втратами.

**Таблиця 1 – Шкала Ріхтера**

Опис	Значення	Наслідки	Частота
Мікро	Менше 2,0	Мікроземлетруси, не відчуються	~8000 на день
Дуже слабкі	2,0-2,9	Як правило не відчуються, але реєструються	1000 на день
Слабкі	3,0-3,9	Часто відчуються, дуже рідко завдають шкоди	~49 000 щорічно
Легкі	4,0-4,9	Відчутне тремтіння речей всередині будинків, значна шкода малоймовірна	~6200 щорічно
Помірні	5,0-5,9	Може завдати значної шкоди старим та погано сконструйованим будівлям на незначній території. Щонайбільше, незначні пошкодження добре спроектованим будівлям	800 на рік
Сильні	6,0-6,9	Може спричинити руйнацію на території до 150 км довжиною/шириною в населених регіонах	120 на рік
Дуже сильні	7,0-7,9	Значна руйнація на значній території	18 на рік
Великі	8,0-8,9	Серйозна руйнація на територіях довжиною/шириною в сотні кілометрів	1 на рік
Рідкісно великі	9,0 чи більше		1 на 20 років

Шкалу ввів 1971 року професор чиказького університету Теодор Фудзіта. Вся шкала складається з тринадцяти категорій: F0 — F12. При цьому проміжок між F0 і F1 відповідає 11-му і 12-му балу Бофортської шкали швидкості вітрів. Сім категорій вище F5, Фудзіта ввів в якості теоретичних. Тому, максимальна категорія, яку привласнюють торнадо — це F5;

- ураганів Саффіра-Сімпсона — шкала для вимірювання збитку від ураганів. Була розроблена Гербертом Саффіром і Робертом Сімпсоном в 1969 році для вимірювання потенційних збитків від ураганів. Ґрунтується на швидкості вітру і включає оцінку штормових хвиль у кожній з п'яти категорій.

Вище перелічені шкали мають тісний зв'язок з проявами природних явищ і можуть використовуватися виключно для їх оцінки і, тому непридатні для оцінки якісних показників програмних продуктів.

Метою даної роботи є розроблення кваліметричної шкали для визначення рівня якісних показників програмних продуктів та оцінка її адекватності на основі експериментальних даних оціночних елементів метрик якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки.

За основу при розробленні кваліметричної шкали можна взяти узагальнену функцію бажаності Харрінгтона [7], яка використовується для вирішення багатofакторних задач. За основу береться одна із логічних функцій Харрінгтона — так звана «крива бажаності», яка описується формулою:

$$d = \exp[-\exp -Y], \quad (1)$$

яка має дві ділянки насичення ( $d \rightarrow 0$  і  $d \rightarrow 1$ ) і лінійну ділянку (від  $d = 0,2$  до  $d = 0,63$ ).

Графічно «крива бажаності» [7] зображена на рис. 1.

Вісь координат  $Y$  (рис. 1) називається шкалою часткових показників, вісь  $d$  — шкалою бажаності. Проміжок ефективних значень на шкалі часткових показників —  $[-2; +5]$ . Шкала бажаності ділиться в діапазоні від 0 до 1 на п'ять під діапазонів:  $[0; 0,2]$  — «дуже погано»,  $[0,2; 0,37]$  — «погано»,  $[0,37; 0,63]$  — «задовільно»,  $[0,63; 0,8]$  — «добре»,  $[0,8; 1]$  — «дуже добре».

Крім функції Харрінгтона, при побудові оціночних шкал, заслуговують уваги числа ряду Фібоначчі, або так званого «золотого перетину» [8]. З історією «золотого перетину» тісно пов'язане ім'я італійського математика, ченця Леонардо з Пізи, відомішого як Фібоначчі. Він відкрив рекурентну формулу:

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, \quad (2)$$

з якої (формула (2)) вивів відомий ряд Фібоначчі: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34...  $F_n$ ,  $n$ -й член якої задається таким рекурентним співвідношенням:

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \quad \text{при } n > 2. \quad (3)$$

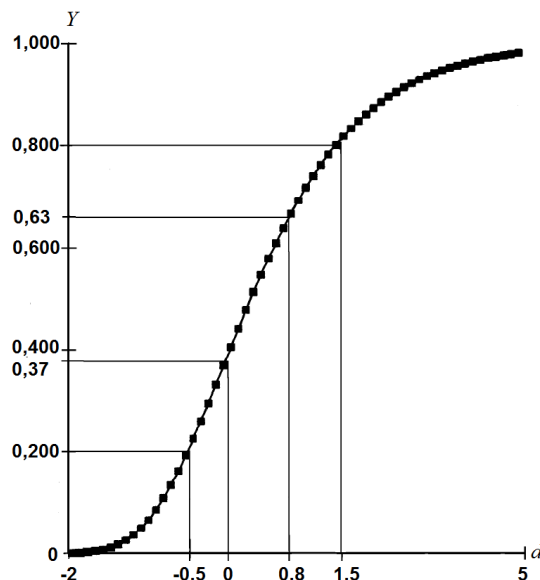


Рисунок 1 — Узагальнена функція бажаності Харрінгтона

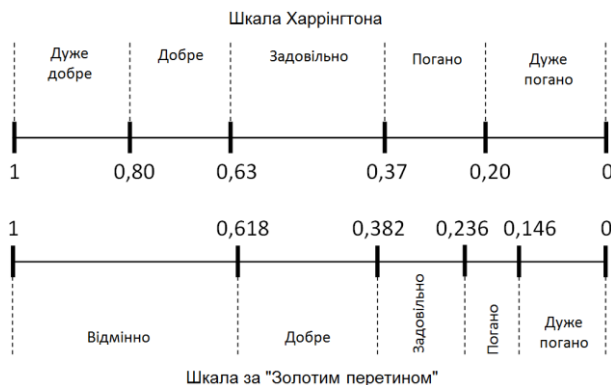
Рекурентне співвідношення породжує ряд Фібоначчі. Тобто кожен його член, починаючи з третього, дорівнює сумі двох попередніх, а відношення чисел ряду наближене до відношення «золотого перетину». Так,  $21 : 34 = 0,617$ , а  $34 : 55 = 0,618$ . Це відношення позначається символом  $\Phi$ . Тільки це відношення —  $0,618 : 0,382 = 1,61$  — дає безперервне ділення прямої в золотій пропорції.

Моделі оціночних шкал, розроблених на основі узагальненої функції бажаності Харрінгтона [7] та ряду Фібоначчі («золотого перетину») [8, 9] наведені на рис. 2.

Як видно із рис. 2 діапазони рівнів якості на двох шкалах не співпадають: діапазону «відмінно» шкали за «Золотим перетином» відповідають два діапазони «Дуже добре» і «Добре» шкали Харрінгтона, аналогічно діапазону «Добре» відповідає діапазон «Задовільно», а границі діапазонів «Задовільно», «Погано», «Дуже погано» нижньої шкали значно відрізняються від границь діапазонів «Погано» і «Дуже погано» верхньої шкали.

За допомогою цих шкал (рис. 2) здійснена оцінка експериментальних даних, отриманих при дослідженні якісних показників

програмного продукту 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу» [3], результати якої наведені в табл. 2. Дана таблиця, по своїй структурі, є деревом властивостей [10] і відображає ієрархію якісних показників програмного продукту *Метрика* → *Критерій* → *Фактор* → *Узагальнений критерій якості* та їх оцінки у відносній формі в діапазоні від 0 до 1 і за п'ятибальними шкалами Харрінгтона та «Золотого перетину» (рис. 2).



**Рисунок 2 – Шкали на основі узагальненої функції бажаності Харрінгтона та ряду Фібоначчі**

Для визначення адекватності розроблених моделей кваліметричних шкал (рис. 2) проаналізована кількість оцінок 5 («відмінно» чи «дуже добре»), 4 («добре»), 3 («задовільно»), 2 («погано»), 1 («дуже погано»), визначених за функціями Харрінгтона (формула (1)) та Фібоначчі (формула (3)). Співвідношення кількості цих оцінок зображене на рис. 3.

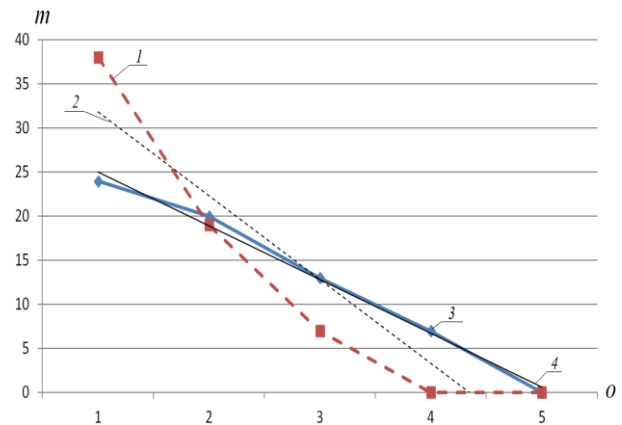
На рис. 3 цифрами 1 і 3 позначені залежності, визначені за функціями Харрінгтона та Фібоначчі відповідно, а 2 і 4 – їхні апроксимаційні криві відповідно;  $Q$  – шкала оцінок,  $m$  – шкала кількості оцінок.

Рівняння апроксимаційної кривої 2 (рис. 3) описується наступною функціональною залежністю:

$$m = -6,1 \cdot Q + 31,1. \quad (4)$$

Аналогічно рівняння апроксимаційної кривої 4 (рис. 3) описується функціональною залежністю:

$$m = -9,5 \cdot Q + 41,3. \quad (5)$$



**Рисунок 3 – Співвідношення кількості оцінок, визначених за функціями Харрінгтона та Фібоначчі («Золотого перетину»)**

Для кількісної оцінки експериментальних (криві 1 і 3, рис. 3) та апроксимаційних залежностей (криві 2 і 4, рис. 3), необхідно визначити середні квадратичні відхилення значень, обчислених за формулами (4) і (5) та експериментальних даних оціночних елементів (табл. 2).

Середні квадратичні відхилення визначимо за формулами:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (Q_{Xai} - Q_{Xei})^2}{z(z-1)}}; \quad (6)$$

$$S_{\Pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (Q_{\Pi ai} - Q_{\Pi ei})^2}{z(z-1)}}, \quad (7)$$

де  $S_X$  і  $S_{\Pi}$  – середні квадратичні відхилення значень, обчислених за формулою (4) та експериментальних даних оціночних елементів (табл. 2) і обчислених за формулою (5) та експериментальних даних оціночних елементів (табл. 2) відповідно;  $Q_{Xe}$  і  $Q_{\Pi e}$  – експериментальні дані оціночних елементів (табл. 2), визначених за функціями Харрінгтона та Фібоначчі («Золотого перетину») відповідно;  $Q_{Xa}$  і  $Q_{\Pi a}$  – значення оціночних елементів, обчислених за формулами (4) та (5) відповідно;  $z$  – кількість точок вимірювання (оцінок),  $z = 1 \dots 5$ .

**Таблиця 2 – Дерево властивостей програмного продукту 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу»**

[illegible]

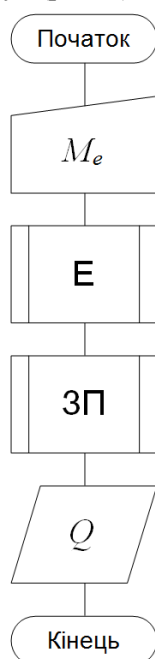
Продовження таблиця 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E01 Функціональна автоматизація	0,18	2	1	4.1 Рівень сова ефек-автомати-зації	0,21	2	2	4 Ефективність	0,98	5	5
E02 Автоматизація інтерфейсів	0,30	3	2								
E03 Автоматизація контролю	0,14	1	1								
E04 Ефективність виконання	0,35	3	2	4.2 Тимча-4.1	0,39	4	3				
E06 Стаціонарна ресурсоемність	0,60	4	3	4.3 Ресурсова ефек-автомати-зації	0,39	4	3	5 Універсальність	0,78	5	4
E07 Динамічна ресурсоемність	0,40	4	3								
G02 Простота архітектури проекту	0,10	1	1	5.1 Гнучкість	0,31	3	2				
G03 Складність архітектури проекту	0,17	2	1								
G04 Складність структури коду програм	0,09	1	1								
G05 Застосування стандартних протоколів зв'язку	0,17	2	1								
G06 Застосування стандартних інтерфейсних програм	0,17	2	1	5.2 Мобіль-ність	0,27	3	2				
G07 Залежність від використовуюваного комплексу технічних засобів	0,26	3	2								
G08 Залежність від базового програмного забезпечення	0,12	1	1	5.3 Модифі-кованість	0,20	2	1				
G10 Простота кодування	0,17	2	1								
G11 Кількість коментарів	0	1	1								
G12 Якість коментарів	0,08	1	1								
G13 Використання описувальних засобів мови	0,10	1	1	6.1 Повнота реалізації	0,13	1	1				
G14 Незалежність модулів	0,16	2	1								
F01 Повнота реалізації розробника	0,36	3	2								
F02 Повнота програмної документації	0,17	2	1								
F03 Несуперечність документації розробника	0,08	1	1	6.2 Узгодженість	0,11	1	1				
F04 Несуперечність програми	0,14	1	1								
F05 Однотипність інтерфейсів між модулями і користувачами	0,06	1	1								
F06 Однотипність кодування	0,08	1	1								
F07 Відповідність документації стандартам	0,15	2	1	6.3 Логічна корек-тність	0,15	2	1				
F08 Відповідність програмних засобів стандартам програмування	0,10	1	1								
F09 Відповідність програмного засобу документації	0,14	1	1	6.4 Переві-реність	0,15	2	1				
F11 Реалізація всіх рішень	0,25	3	2								
F12 Відсутність явних помилок і достатність реквізитів	0,50	4	3	6.5 Захищеність	0,06	1	1				
F13 Повнота динамічного тестування	0,17	2	1								
F14 Повнота статичного тестування	0,50	4	3	6.5 Захищеність	0,06	1	1				
F15 Аутентифікація елементів систем обробки даних	0	1	1								
F16 Керування доступом	0,06	1	1								
F17 Протоколювання звернень	0,15	2	1								
F18 Криптографічний захист	0	1	1								
Узагальнений критерій якості											
E	ЗП					X					
0,79	5					4					



Обчислені за формулами (6) і (7) значення середніх квадратичних відхилень, обчислених за формулами (4) і (5) та експериментальних даних оціночних елементів (табл. 2) становлять 2,57 і 0,37 відповідно, що свідчить про перевагу у застосуванні функції Фібоначчі («Золотого перетину») над функцією Харрінгтона при вирішенні задачі побудови кваліметричних шкал програмних продуктів.

З врахуванням методів оцінки якісних показників програмних продуктів, наведених в [1, 2], розроблений алгоритм визначення узагальненого критерію якості та оцінювання його за шкалою, побудованою за правилом «Золотого перерізу» (рис. 4).



**Рисунок 4 – Загальний алгоритм роботи визначення узагальненого критерію якості програмних продуктів**

Позначення на рис. 4 наступні:  $M_e$  – значення оціночних елементів якісних показників програмних продуктів,  $E$  – передвизначний процес, що реалізує методику оцінки якісних показників на основі експертних оцінок,  $ЗП$  – передвизначний процес обчислення узагальненого критерію якості та оцінювання

його за шкалою, побудованою за правилом «Золотого перерізу»,  $Q$  – значення узагальненого критерію якості.

Блок-схема алгоритму, що реалізує методику оцінки якісних показників на основі експертних оцінок наведена на рис. 5.

Позначення на рис. 5 наступні:  $M_{kq}$  – усереднена оцінка оціночного елемента,  $e$  – кількість значень оціночного елемента  $1 \dots T$ ,  $k$  – порядковий номер метрики,  $q$  – порядковий номер оціночного елемента,  $P_{jk}^M$  – підсумкова оцінка  $k$ -ї метрики  $j$ -го критерію,  $O$  – кількість оціночних елементів в  $k$ -ій метриці,  $P_{ji}$  – абсолютний показник критеріїв  $i$ -го фактору якості,  $l$  – кількість метрик, що відносяться до  $j$ -го критерію,  $V_{jk}$  – сума вагових коефіцієнтів,  $K_{ij}$  – відносний показник  $j$ -го критерію  $i$ -го фактору якості  $K_i^F$  – фактор якості,  $N$  – кількість критеріїв, що відносяться до  $i$ -го фактору,  $w_i$  – вектор вагових коефіцієнтів за методом ранжування,  $i = 1, 2, \dots, m$  – порядковий номер фактору якості,  $q_i$  – обчислене значення факторів якості.

Блок-схема алгоритму, що реалізує методику обчислення узагальненого критерію якості та оцінювання його за шкалою, побудованою за правилом «Золотого перерізу» наведена на рис. 6.

Результатом роботи алгоритму обчислення узагальненого критерію якості та оцінювання його за шкалою, побудованою на основі правила «Золотого перерізу» (рис. 6) є оцінки в п'ятибальній системі, яка є загальноприйнятою.

## ВИСНОВКИ

Використання запропонованої методології визначення узагальненого критерію якості та оцінювання його за шкалою, побудованою за правилом «Золотого перерізу», дозволить оцінювати кваліметричні показники програмних продуктів, зокрема тих, які є складовою обчислювальних компонентів засобів вимірювальної техніки.

Предметом подальших наукових досліджень буде експериментальна апробація запропонованої методології побудови кваліметричних шкал та програмна реалізація алгоритмів, розроблених в даній роботі.

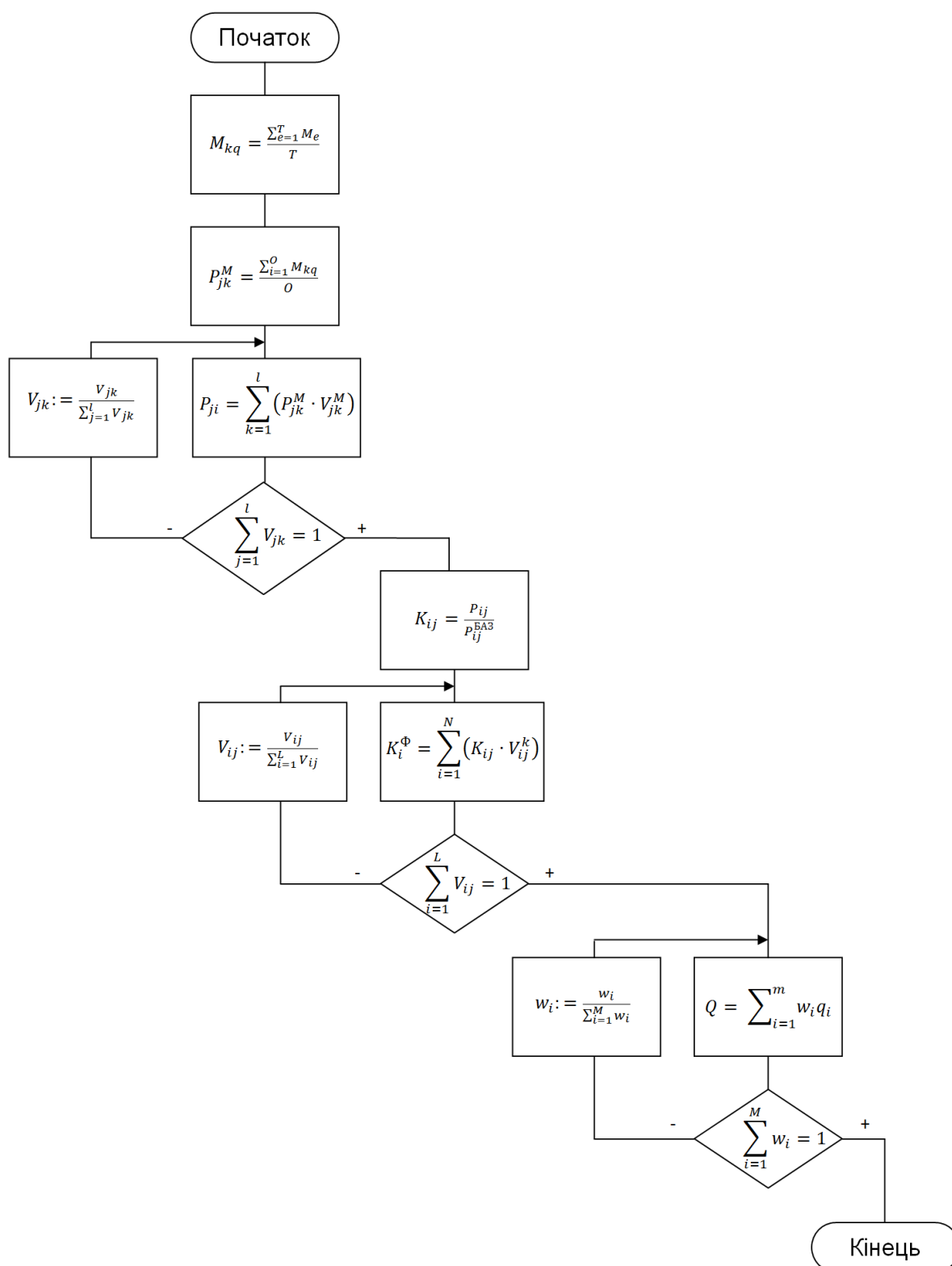


Рисунок 5 – Алгоритм, що реалізує методику оцінки якісних показників на основі експертних оцінок



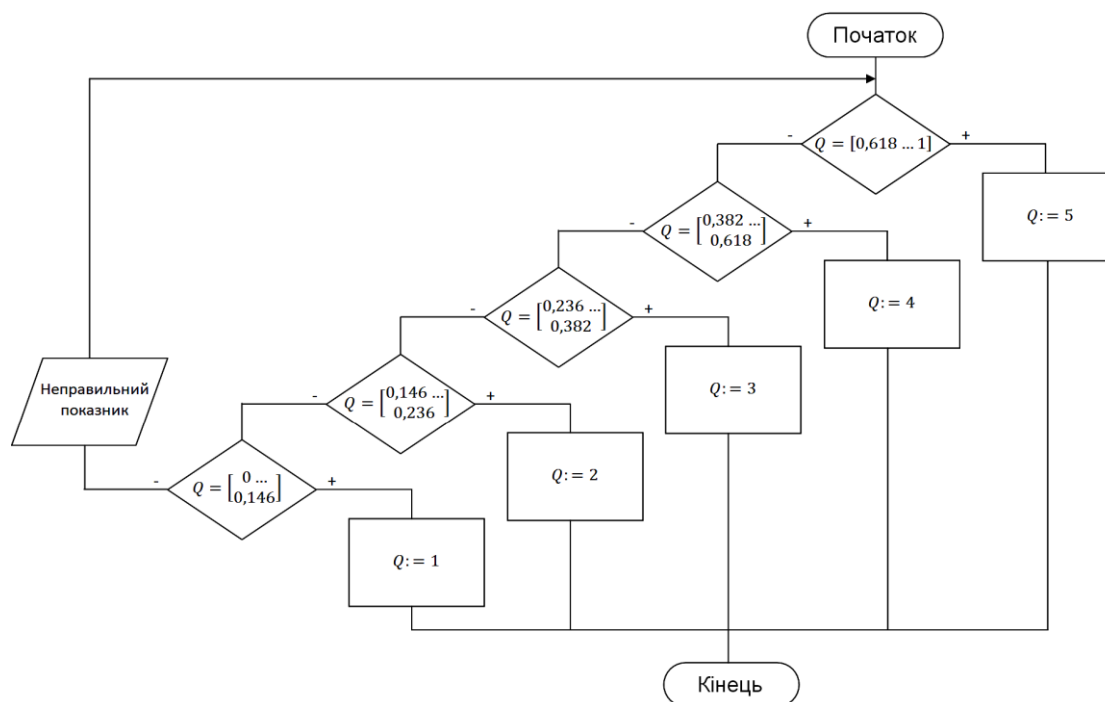


Рисунок 6 – Алгоритм, що реалізує методику обчислення узагальненого критерію якості та оцінювання його за шкалою, побудованою на основі правила «Золотого перерізу»

### Література

1. Оценка качества программных средств. Общие положения: ГОСТ 28195-99. – [Чинний від 2000-03-01]. – М.: Издательство стандартов 2000. – 20 с. – (Міждержавний стандарт).
2. Кузь М.В. Методологія формування узагальненого критерію якості програмного забезпечення в умовах невизначеності / М.В. Кузь, Я.Т. Соловко, В.М. Андрейко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 5. – с. 104-107.
3. Розроблення комплексу програмної і експлуатаційної документації та проведення випробувань програмних засобів еталонних повірочних установок// Замовник ІВФ «Темпо», заключний звіт 86 с., 2010.
4. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Основные положения. Термины и определения: МИ 2365-96. – [Чинний від 1996-01-01]. – М.: ВНИИФТРИ 1995. – 20 с. – (Рекомендація)
5. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Донецьк : Донбас, 2004.
6. Українська радянська енциклопедія : у 12 т. / за ред. М. П. Бажана. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція Української Радянської Енциклопедії, 1974—1985.
7. Пичкалев А.В. Обобщенная функция

желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А.В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – №1. – с. 25-28.

8. Каблова Т.Б. Загальний огляд підходів до тлумачення феномену «Золотого перетину»: від давнини до сучасності / Т.Б. Каблова // Культура України. – 2011. – Вип. 35. – с. 132-139.

9. Васютинский Н.А. Золотая пропорция. – М.: Мол. гвардия, 1990. – 238 с.

10. Основы кваліметрії. Версія 1.0 [Електронний ресурс]: електрон. учеб. пособие / А. А. Недбай, Н. В. Мерзликина. – Електрон. дан. (2 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Кваліметрія : УМКД № 104-2007 / рук. творч. колектива А. А. Недбай). – 1 електрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования: Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти; 2 Мб свободного дискового пространства; привод DVD; операционная система Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista (32 бит); Adobe Reader 7.0 (или аналогичный продукт для чтения файлов формата pdf).

Поступила в редакцію 18.06.2016 р.

Рекомендували до друку:  
докт. техн. наук, проф. Середюк О. Є.,  
докт. техн. наук, проф. Лютак І. З.